

MAPEAMENTO DE PERIGO DE ESCORREGAMENTOS EM ENCOSTAS URBANAS PRECÁRIAS BRASILEIRAS COM A APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Landslide Hazard Mapping in Brazilian Poor and Slum Urban Areas with the application of the AHP Method

Daniela Gírio Marchiori Faria*

Oswaldo Augusto Filho**

RESUMO – Este trabalho foi realizado no sentido de aprimorar o método de mapeamento de perigo e de risco de escorregamentos em áreas urbanas atualmente mais utilizado no Brasil, diminuindo sua subjetividade na comparação e na hierarquização dos setores de perigo, sem modificar sua abordagem fundamental e suas técnicas principais atualmente utilizadas. Para tornar o método mais sistemático, propõe-se incorporar o Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP) na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo. Para a validação da proposta de incorporação do AHP ao método de mapeamento de risco foi realizado um ensaio de aplicação em áreas de risco de escorregamentos no município de São Sebastião (SP), que foi mapeado anteriormente pelo Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente – IG-SMA, utilizando a abordagem tradicional, sem a incorporação sistemática do AHP.

SYNOPSIS – This work has the objective of enhancing the method of hazard mapping and risk of landslides in poor and slum urban areas currently more used in Brazil, by reducing its subjectivity for the comparison and ranking of sectors. It is not the intent of the research to change its fundamental approach and its main techniques currently used. To this end, it is proposed to incorporate to the method the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the systematic analysis of the indicators and the ranking of hazard sectors. To validate the proposed enhancements, including the use of AHP method, was made a test application in risk areas of landslides in the municipality of São Sebastião (SP), which was previously mapped by the Geological Institute of the Environment Secretary - SMA, using the traditional approach, without the systematic use of AHP and ranking of indicators.

PALAVRAS CHAVE – Mapeamento de perigo, Escorregamentos, Método AHP.

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, os processos de instabilização de encostas estão entre os principais fenômenos relacionados a desastres naturais em áreas urbanas precárias. Os escorregamentos em encostas estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, repetindo-se a cada período chuvoso.

De acordo com Carvalho e Galvão (2006), levantamentos de riscos realizados em encostas de vários municípios brasileiros indicam que, em todos eles, a falta de infraestrutura urbana é uma das

* Pesquisadora Científica do Instituto Geológico – IG-SMA e doutora pelo Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP. E-mail: dgmfaria@uol.com.br.

** Professor Adjunto do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP. E-mail: oafilho@sc.usp.br.

principais causas dos fenômenos de escorregamentos no Brasil. Dessa forma, uma política eficiente de prevenção de risco de escorregamentos em encostas deve considerar como áreas prioritárias de atuação os assentamentos precários.

A identificação e análise de riscos devem ser realizadas na primeira etapa para se estabelecer um programa de gerenciamento de riscos (UNDRO, 1991). Sem o conhecimento da dimensão do problema, não há como planejar e agir adequadamente para resolvê-lo. O diagnóstico de risco deve: informar quais são os indicadores ou evidências dos processos ambientais que, potencialmente, podem causar danos à população, às edificações ou à infraestrutura e descrevê-los; estabelecer alguma gradação ou hierarquização das situações identificadas; e estimar o número de edificações e de pessoas potencialmente afetadas (Nogueira, 2006).

O mapeamento de risco (identificação, análise dos riscos e delimitação das áreas de sua ocorrência) é executado por meio de trabalhos de campo, nos quais, são avaliadas as possibilidades (probabilidades) de ocorrência dos processos destrutivos (perigo), a vulnerabilidade do elemento em risco (percentagem de perda esperada para o elemento submetido a situação perigosa) e as consequências sociais e/ou econômicas, caso ocorra um determinado processo destrutivo. Em termos absolutos, idealmente, o risco deve expressar um cálculo de danos sociais e/ou econômicos por período de tempo.

As principais etapas envolvidas no método de mapeamento mais utilizado no Brasil são: a) planejamento e levantamento de dados pré-existentes, incluindo a obtenção das imagens aéreas de grande escala e com datas recentes; b) realização das vistorias sistemáticas de campo; c) identificação e caracterização dos processos de instabilização atuantes (geometria, material movimentado, dinâmica, etc.) e delimitação dos setores de análise; d) identificação dos indicadores de perigo e de risco de cada setor de análise; e) análise do perigo e do risco por comparação entre os indicadores identificados e f) hierarquização qualitativa entre as diferentes situações identificadas, agrupando-as, em geral, em quatro níveis distintos de perigo e de risco: baixo, médio, alto e muito alto.

Segundo Cerri (2006), os mapeamentos de risco, no Brasil e em muitos outros países, são predominantemente realizados por avaliações qualitativas, ou seja, os riscos são identificados com base na opinião técnica da equipe que executa o mapeamento com o apoio de informações dos moradores da área mapeada. É realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos por diferentes equipes de campo como forma de padronização da classificação do risco, buscando garantir uma uniformidade na linguagem e nos critérios empregados.

Para aperfeiçoar as abordagens de mapeamento de risco considera-se pertinente sugerir e incorporar técnica quantitativa e diminuir a subjetividade da análise de perigo de escorregamentos. É neste sentido que se incorporou o Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP) na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo.

O método AHP é um modelo de ponderação para auxiliar na tomada de decisão em problemas que envolvem a valoração e a hierarquização de fatores através da avaliação de um conjunto de critérios explicitados por pesos relativos, dentro de regras matemáticas pré-estabelecidas.

Os trabalhos de Kolat *et al.* (2006; 2012) são exemplos de aplicação do método AHP associado a GIS em mapeamentos geotécnicos (microzoneamentos) em áreas urbanas, os quais verificaram que o método AHP apresentou vantagens importantes, tais como: consistência nas análises, baixo custo, fácil manipulação dos dados e a possibilidade de reproduzir vários cenários.

2 – O MÉTODO DE MAPEAMENTO DE RISCO ADOTADO PELO MINISTÉRIO DAS CIDADES

Em 2003, com a criação do Ministério das Cidades, o Governo Federal instituiu no âmbito do Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários, a Ação de “Apoio

à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários” com o objetivo de auxiliar a redução dos riscos nas áreas urbanas. Esta Ação compreende três etapas (Carvalho e Galvão, 2006): a) Treinamento de equipes municipais, com o objetivo de capacitar técnicos das prefeituras para a elaboração de diagnóstico, prevenção e gerenciamento de risco; b) Apoio financeiro para elaboração, pelo município, do PMRR (Plano Municipal de Redução de Risco), que contempla: o diagnóstico de risco (mapeamento); as medidas de segurança necessárias para controle e redução dos riscos identificados; a estimativa de recursos a serem implantados nas intervenções necessárias para a redução e controle dos riscos; o estabelecimento de prioridades e; a compatibilização com os programas de urbanização de favelas e regularização fundiária; c) Apoio financeiro para elaboração de projetos de contenção de encostas em áreas de risco consideradas prioritárias no PMRR.

Os trabalhos de Cerri (2006) e Cerri *et al.* (2007) apresentam o método de mapeamento de risco associado a escorregamentos e inundação adotado pelo Ministério das Cidades como modelo para a elaboração do PMRR.

As etapas dos procedimentos de campo do método adotado pelo Ministério das Cidades são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Métodos e procedimentos do mapeamento de risco adotado pelo Ministério das Cidades (Cerri *et al.* 2007).

Mapeamento de risco – Ministério das Cidades
Etapas dos procedimentos de campo
<ul style="list-style-type: none"> • elaborar e utilizar os modelos dos processos de instabilização e as informações sobre a tipologia e os mecanismos de escorregamentos e de solapamentos de margens de córregos disponíveis na vasta literatura técnico-científica;
<ul style="list-style-type: none"> • realizar trabalhos de campo, por meio de investigações geológico-geotécnicas de superfície, visando identificar condicionantes dos processos de instabilização, evidências de instabilidade e indícios do desenvolvimento de processos destrutivos;
<ul style="list-style-type: none"> • obter a localização precisa das áreas de risco, por meio de utilização de GPS (Global Positioning System), com no mínimo um ponto de leitura por área mapeada;
<ul style="list-style-type: none"> • delimitar os setores de risco e, com base em julgamento dos profissionais encarregados do mapeamento de risco, atribuir, para cada setor, um grau de probabilidade de ocorrência de processo de instabilização (escorregamento de encostas ou solapamento de margens de córregos), considerando o período de 1 ano.
<ul style="list-style-type: none"> • representar cada setor de risco identificado em cópias de fotografias aéreas oblíquas de baixa altitude, a serem obtidas por meio de sobrevoos com helicóptero;
<ul style="list-style-type: none"> • estimar as consequências potenciais do processo de instabilização, por meio da avaliação das possíveis formas de desenvolvimento do processo destrutivo atuante (por exemplo, volumes mobilizados, trajetórias dos detritos, áreas de alcance etc.), definir e registrar o número de moradias ameaçadas (total ou parcialmente), em cada setor de risco;
<ul style="list-style-type: none"> • indicar a(s) alternativa(s) de intervenção adequada(s) para cada setor de risco. Nos casos de ser possível a adoção de mais de uma alternativa de intervenção, essa possibilidade deve ser explicitada nas fichas de campo.

O Quadro 2 indica os graus de risco adotados na setorização.

Quadro 2 – Graus de risco adotados na setorização (modificado de Cerri *et al.*, 2004).

RISCO	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervalo no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muitas reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período de 1 ano.

3 – O MÉTODO AHP

O método AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 (Abreu *et al.* 2000). Baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par (Toma e Asharif, 2003). Seu uso é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais através da avaliação de um conjunto de critérios (Asahi *et al.* 1994; Finnie e Wittig, 1999; Kim, 1999).

3.1 – Julgamentos paritários

Os critérios são comparados segundo a escala de julgamentos, também denominada de Escala Fundamental de Saaty, onde a quantificação dos julgamentos é realizada por meio de uma escala de valores que varia de 1 a 9, como indica o Quadro 3 (Boritz, 1992; Schmidt, 1995).

Teknomo (2006) explicando, de forma didática, a comparação par a par mostrou um exemplo com três tipos de frutas: banana, maçã e cereja. Na Figura 1 são apresentados os três tipos de comparações, por meio de julgamentos subjetivos, resultando numa matriz 3 por 3. Comparando-se a maçã com a banana, conforme a escala de julgamentos existe uma preferência moderada pela banana em relação à maçã. Assim como, existe uma forte preferência pela maçã em relação à cereja e, do mesmo modo, existe uma preferência muito forte pela banana em relação à cereja.

Quadro 3 – Escala de julgamento de importância do Método AHP (modificado de Saaty, 1990).

Valores numéricos	Termos verbais	Explicação
1	Igual importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra.
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma alternativa em relação a outra, com grau de certeza mais elevado.
2, 4, 6 e 8	Valores importantes intermediários	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

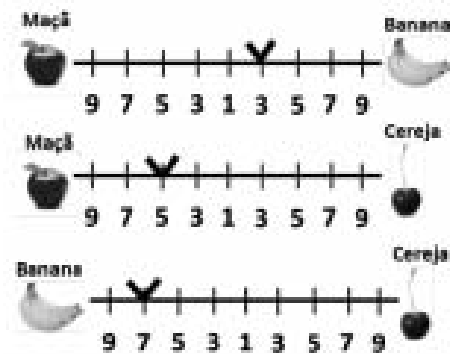


Fig. 1 – Exemplo de comparação par a par (modificado de Teknomo, 2006).

Na estruturação da matriz de comparação, se o valor do julgamento na escala está situado à esquerda do número 1, insere-se o “valor atual”; senão, insere-se o valor recíproco, conforme a forma matricial apresentada no Quadro 4, a seguir.

Quadro 4 – Representação da matriz de comparação dos julgamentos apresentados na Figura 1.

	Maçã	Banana	Cereja	
Maçã	1	1/3	5	= Matriz $A_{3 \times 3}$
Banana	3	1	7	
Cereja	1/5	1/7	1	

Em seguida, a matriz de comparação paritária é submetida a uma técnica matemática denominada “autovetor”.

A forma, recomendada por Saaty (1990), para realizar o cálculo do autovetor consiste em elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando os resultados.

Considerando-se o exemplo de Teknomo (2006), o cálculo do autovetor ocorre conforme as três etapas a seguir:

- a) Soma total dos elementos de cada coluna da matriz de comparação paritária transformada conforme apresentado no Quadro 5;

Quadro 5 – Exemplo de matriz de comparação transformada (modificado de Teknomo, 2006).

Critérios	Maçã	Banana	Cereja
Maçã	1	1/3	5
Banana	3	1	7
Cereja	1/5	1/7	1
Soma	21/5	31/21	13

- b) A normalização relativa dos pesos ocorre por meio da divisão de cada elemento da matriz pela soma total da respectiva coluna, resultando na soma igual a unidade, conforme mostra o Quadro 6;

Quadro 6 – Exemplo de matriz de comparação normalizada (modificado de Teknomo, 2006).

Critérios	Maçã	Banana	Cereja
Maçã	5/21	7/31	5/13
Banana	15/21	21/31	7/13
Cereja	1/21	3/31	1/13
Soma	1	1	1

- c) Cálculo da média aritmética de cada linha da matriz, gerando o “autovetor” ou “vetor de prioridades”, conforme indicado no Quadro 7.

Quadro 7 – Autovetor normalizado (modificada de Teknomo, 2006).

Critérios	Maçã	Banana	Cereja	Soma das linhas	Autovetor (%)
Maçã	5/21	7/31	5/13	0,8485	28,28
Banana	15/21	21/31	7/13	1,9302	64,34
Cereja	1/21	3/31	1/13	0,2213	7,38
Soma das colunas	1	1	1	3,0000	100

Portanto, no exemplo de Teknomo (*op. cit.*) o autovetor ou vetor de prioridades, mostra os pesos relativos de importância na comparação entre as frutas, indicando que a banana tem importância de 64,34%, a maçã 28,33% e a cereja 7,38%. O autovetor, por conseguinte, fornece a hierarquia ou ordem de prioridade dos critérios comparados.

O próximo passo é determinar a consistência ou coerência dos julgamentos.

3.2 – Análise da consistência dos julgamentos

A integridade, qualidade ou coerência dos julgamentos é realizada por meio do cálculo do “autovalor”. Essa análise também é denominada de “*análise de sensibilidade*” e indica se os julgamentos estão logicamente relacionados (Pamplona, 1999).

Para a realização da análise de sensibilidade, Saaty (1990) propôs o seguinte procedimento:

- a) Estima-se inicialmente o “*autovalor máximo*” ($\lambda_{\text{máx}}$). A consistência de uma matriz positiva recíproca requer que o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) seja igual ao número de linhas (ou colunas) da matriz de comparações paritárias n (número que representa a ordem da matriz). Quanto mais próximo $\lambda_{\text{máx}}$ for de n , mais consistente será o resultado. O autovalor é calculado através da equação (1):

$$\lambda_{\text{máx}} = T \cdot w \quad (1)$$

onde: T é o autovetor normalizado;

w corresponde à soma das colunas da matriz de comparações para cada critério.

Voltando novamente ao exemplo de Teknomo (2006), observando-se os valores das somas das colunas para cada critério mostrados no Quadro 5 e o resultado do autovetor no Quadro 7, obtém-se o autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$), indicado a seguir, de acordo com a equação (1):

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{21}{5} (0,2833) + \frac{31}{21} (0,6434) + 13 (0,0738) = 3,099 \quad (2)$$

Observa-se que o valor de $\lambda_{\text{máx}} = 3,099$, está próximo do número da ordem da matriz de comparações paritárias ($n = 3$) no exemplo das frutas.

- b) Calcula-se o “*índice de consistência*” (IC). O índice de consistência de uma matriz de comparações paritárias indica quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado n , logo esse desvio é dado pela expressão ($\lambda_{\text{máx}} - n$). Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz ($n - 1$). Assim, o índice de consistência é dado pela equação (3), a seguir;

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

- c) Calcula-se a “*razão de consistência*” (RC). Para se determinar a razão de consistência (RC), o índice de consistência (IC) é comparado com o “*índice de consistência aleatória*” (CA) para determinar se o grau de consistência é satisfatório. O índice de consistência aleatória também é denominado de “*índice randômico*” (IR), por outros autores.

O índice de consistência aleatória (CA) representa o valor que seria obtido em uma matriz de comparações paritárias de ordem n em que não fossem realizados julgamentos lógicos, preenchendo-se os elementos com valores aleatórios. Saaty (1980) calculou o índice de consistência aleatória para uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de ordem de até 11 por 11, geradas aleatoriamente, encontrando os valores apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Valores de consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz (Saaty, 1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

A razão de consistência permite analisar o grau de violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos do decisor. É calculada conforme equação (4), a seguir:

$$RC = IC/CA \quad (4)$$

A razão de consistência (RC) é aceitável para valores menores ou iguais a 0,10 (10%). Para valores maiores que 0,10, podem existir sérias inconsistências nos julgamentos e o resultado da aplicação do AHP pode ser considerado “pobre” (incoerente). Neste caso, sugere-se a revisão da matriz de comparações no intuito de rever os julgamentos, buscando torná-los consistentes (Saaty, 1990).

No exemplo de Teknomo (2006) o resultado da razão de consistência (RC) foi 8,53% (<10%), indicando que os valores dos pesos atribuídos aos critérios estão consistentes.

Boritz (1992) aponta como um dos pontos fortes mais significativos do método AHP a capacidade de medir o grau de consistência presente nos julgamentos par a par e, desse modo, ajudar a assegurar que somente ordenações justificáveis sejam usadas como a base para avaliações.

3.2 – Valoração global

A valoração global de cada uma das alternativas é realizada segundo o método da soma ponderada (Saaty, 1980), expresso pela equação (5):

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j v_j(a), \text{ com } \sum_{j=1}^n p_j = 1 \text{ e } 0 < p_j < 1 \text{ (j = 1,...,n)} \quad (5)$$

onde: V(a) corresponde ao valor global da alternativa analisada;

p_j corresponde à importância relativa do critério j e;

v_j ao nível de preferência da alternativa analisada no critério j .

Segundo Ensslin *et al.* (2001) em um modelo considerado “estável”, ou seja, bem estruturado, pequenas alterações na atribuição dos pesos não modificam significativamente os resultados.

Com a execução de todos os procedimentos descritos anteriormente obtêm-se subsídios consistentes para a tomada de decisão em relação a um problema complexo.

Existem no mercado alguns softwares, que implementam o método AHP e promovem a simplificação do processo de avaliação e a execução dos cálculos matriciais e dos índices de consistência (Choirat e Seri, 2001; Saunders, 1994). Entretanto, existem análises simples, como é o caso do estudo em foco, em que é possível executar os cálculos matriciais e os índices de consistência por meio de um programa de estruturação de planilhas, como exemplo, o *Microsoft Excel*.

4 – MÉTODO E ETAPAS DO TRABALHO

As principais etapas de trabalho desenvolvidas neste estudo estão identificadas na Figura 2.

4.1 – Estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamento com o método AHP

O método AHP foi definido como procedimento básico para o desenvolvimento da análise de perigo de escorregamento em áreas urbanas precárias. Apesar de existir programas de AHP disponíveis, inclusive com licença livre, optou-se por estruturar os procedimentos desta técnica em um ambiente de planilha eletrônica do programa Excel (*Microsoft*). Este programa foi escolhido devido



Fig. 2 – Fluxograma com as principais etapas do trabalho.

a sua ampla disseminação, facilidade de uso e possibilidade de ser incorporado em dispositivos portáteis como “tablet”, podendo ser utilizado diretamente nos trabalhos de campo.

Cada planilha de análise de perigo de escorregamento é composta por quatro tabelas principais: entrada de dados, chave de ponderação, índice de perigo e classificação do perigo. As três primeiras tabelas são estruturadas para cada área mapeada. A quarta tabela denominada de classificação do perigo agrega todas as áreas mapeadas, ou seja, todos os setores de perigo. As tabelas são descritas a seguir:

– Entrada de Dados

Esta tabela foi elaborada para armazenar os dados do levantamento de campo que no mapeamento de risco do Instituto Geológico (SMA, 2006) foram identificados em fichas de campo. É composta dos dados de localização, área de estudo, data, equipe de campo, processos identificados, indicadores de perigo, consequências (correspondendo ao número de moradias ameaçadas), números e datas das fotos aéreas, registros fotográficos de campo e dados de GPS (*Global Positioning System*), conforme apresentado no Quadro 9. Além destes dados foi inserida uma coluna onde foram transportados os resultados obtidos na análise de perigo (índice e grau) com a aplicação do método AHP.

Quadro 9 – Exemplo da tabela em Excel da entrada de dados obtidos no levantamento de campo.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO											
ÁREA DE ESTUDO:		A1						FICHA Nº:			1
OBSERVAÇÕES:											
SETOR	ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO			ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQUÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO	
			IP1	IP2	IP3	ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	MAPA/FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
A1 S1											

Cada linha da tabela armazena um setor de análise de perigo definido com base na natureza da encosta/talude e nos tipos de processos de instabilização predominantes. No caso de ocorrerem mais de um processo no setor, a análise é feita para cada um desses processos.

Como forma de facilitar a identificação e o preenchimento dos dados durante os trabalhos de campo, foi acrescentada uma legenda dos indicadores de perigo com as respectivas classes, representadas por letras, conforme o Quadro 10. Essa legenda funciona como uma listagem de controle, utilizada na descrição em campo, dos processos identificados nos setores de perigo.

Quadro 10 – Estruturação da legenda dos indicadores de perigo e suas respectivas classes.

Legenda dos Indicadores de Perigo					
Encosta/Talude	Processo	IP1	IP2	IP3	IP4....
E1	P1	(C1a) Classe 1a	(C2a) Classe 2a	(C3a) Classe 3a	(C4a) Classe 4a
		(C1b) Classe 1b	(C2b) Classe 2a	(C3b) Classe 3b	(C4b) Classe 4b
		(C1c) Classe 1c	(C2c) Classe 2c	(C3c) Classe 3c	(C4c) Classe 4c

– **Chave de ponderação**

Esta tabela armazena as classes dos indicadores de perigo e seus respectivos pesos de acordo com a natureza da encosta e os tipos de processos de escorregamentos. Para cada classe é atribuído uma letra associada a um número, indicada entre parênteses. Os pesos relativos das classes foram atribuídos utilizando o método do Processo de Análise Hierárquica (AHP), logo, foram definidos através do cálculo da matriz de decisão, conforme os procedimentos adotados pelo método AHP. O Quadro 11 indica como foi estruturada a tabela em *Excel* denominada chave de ponderação.

Quadro 11 – Estruturação da tabela em *Excel* denominada chave de ponderação.

Chave de Ponderação					
Encosta/Talude	Processo	IP1	Pesos	IP2...	Pesos...
E1	P1	(C1a) Classe 1a	P1a	(C2a) Classe 2a	P2a
		(C1b) Classe 1b	P1b	(C2b) Classe 2b	P2b
		(C1c) Classe 1c	P1c	(C2c) Classe 2c	P2c

– **Índice de perigo**

Esta tabela contém os dados de entrada de uma área mapeada, na forma de letras, definidas na tabela chave de ponderação. Foi criada uma área dentro desta planilha onde os pesos correspondentes às letras são transportados da tabela da chave de ponderação.

Em seguida é efetuado o cálculo do índice de perigo (IP) com os valores numéricos dos pesos, conforme a seguinte fórmula de ponderação:

$$IP = \sum_{i=1}^n p_i x_i / 100 \tag{6}$$

onde: p = peso do condicionante do processo (indicador de perigo);
 x = peso da classe do respectivo indicador de perigo.

O índice de perigo é calculado para cada natureza de encosta e tipo de processo de escorregamento, identificados nos setores analisados. Cada área mapeada contém uma tabela do IP. A hierarquização dos índices de perigo identificados nas áreas mapeadas é realizada na tabela de classificação do perigo descrita a seguir.

– Classificação do Perigo

A tabela de classificação geral do perigo foi estruturada com os dados do IP obtidos na tabela do índice de perigo de todas as áreas mapeadas, ou seja, aborda todos os setores.

A função desta tabela é classificar o perigo, em baixo, médio, alto e muito alto, os índices de perigo para cada natureza de encosta/talude e tipo de processos de escorregamento, identificados nos diversos setores das áreas mapeadas. Essa classificação foi realizada através da média aritmética dos índices de perigo calculados na tabela do índice de perigo.

Os critérios adotados para a classificação do índice de perigo (IP) foram dois:

- a) a média aritmética (\bar{X}) dos valores numéricos do índice de perigo, somada ou diminuída da metade do desvio padrão (Δ). Esse critério é representado pela equação (7), a seguir:

$$IP = \bar{X} \pm 1/2\Delta \quad (7)$$

- b) presença de feições de instabilidade, classificando o perigo como “muito alto”.

O Quadro 12, a seguir, apresenta os critérios adotados na classificação do índice de perigo.

Quadro 12 – Critérios adotados para a classificação do índice de perigo (IP).

Índice de Perigo (IP)	Grau de Perigo
$IP < \bar{X} - \frac{1}{2} \Delta$	BAIXO
$\bar{X} - \frac{1}{2} \Delta \leq IP \leq \bar{X} + \frac{1}{2} \Delta$	MÉDIO
$IP > \bar{X} + \frac{1}{2} \Delta$	ALTO
Presença de feições de instabilidade expressivas	MUITO ALTO

4.2 – Aplicação da planilha de análise de perigo na área de estudo

Nesta etapa, as áreas de risco de escorregamentos localizadas no município de São Sebastião (SP), foram mapeadas utilizando a planilha de análise de perigo com a incorporação do método AHP. Em cada uma das áreas adotou-se a seguinte sequência geral de etapas de trabalho: 1) Definição da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos nos setores de análise; 2) Seleção dos indicadores de perigo e suas respectivas classes e; 3) Trabalhos de campo aplicando a planilha de análise de perigo.

Estas três etapas são descritas nos itens a seguir.

4.2.1 – Definições da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos nos setores de análise

As definições da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos foram realizadas com base nos trabalhos de campo e em referências bibliográficas. Além disso, foram ela-

boradas de tal forma que o resultado da aplicação do método AHP apresentasse rapidez e facilidade na interpretação, sem prejudicar a qualidade da análise.

A natureza da encosta/talude identificada nos setores de análise das seis áreas mapeadas foi definida em quatro tipos:

- Encosta natural;
- Talude de corte em solo/rocha;
- Bloco rochoso;
- Talude de aterro

Os processos de escorregamentos foram agrupados nos seguintes tipos básicos conforme a natureza da encosta/talude:

- Escorregamento raso em encosta natural;
- Escorregamento de solo e rocha em talude de corte;
- Rolamento/desplacamento de blocos rochosos;
- Escorregamento em aterro (solo, entulho/lixo).

O tipo de processo contemplado em cada setor analisado foi o predominante. Quando foram observados mais de um tipo de processo com potencial elevado de ocorrência no mesmo setor (escorregamentos de solo e de rocha em taludes de corte, por exemplo), a análise de perigo foi realizada para ambos, sendo adotado o maior valor do índice de perigo para o setor.

4.2.2 – Seleção dos indicadores de perigo e suas respectivas classes

Os condicionantes geológico-geotécnicos e ambientais dos processos de escorregamentos foram denominados de indicadores de perigo, sendo agrupados em tipos e classes específicas. Após a seleção dos indicadores de perigo foram atribuídos pesos relativos a cada um deles com aplicação do método AHP, conforme as três etapas de desenvolvimento do método sugerido por Teknomo (2006).

A Figura 3 ilustra a estruturação dos tipos (nível hierárquico 1) e classes (nível hierárquico 2) de indicadores de perigo adotados para análise e mapeamento dos setores de perigo. O procedimento de atribuição de pesos relativos com a aplicação do método foi realizado para os dois níveis hierárquicos dos indicadores de perigo. A Figura 4 ilustra um exemplo deste procedimento para o nível hierárquico 1 dos indicadores de perigo: declividade versus uso/cobertura do solo.

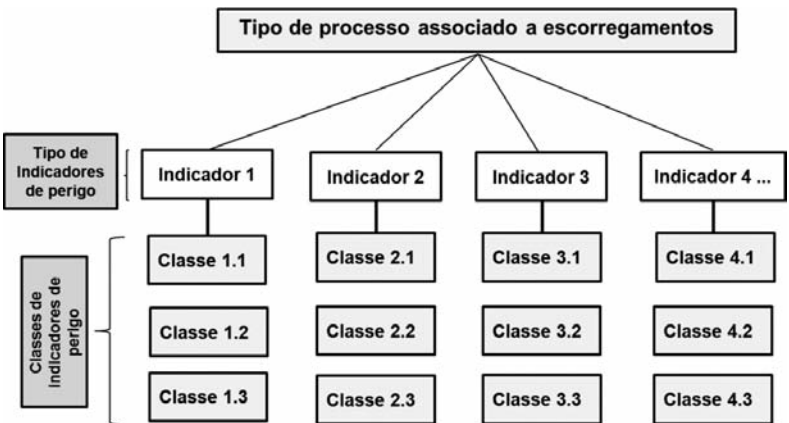


Fig. 3 – Estruturação dos níveis hierárquicos para a aplicação do Método AHP.

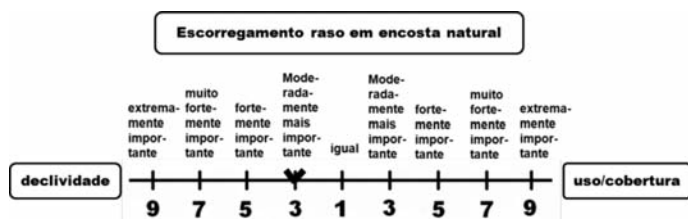


Fig. 4 – Exemplo da Escala Fundamental de Saaty na comparação par a par da declividade e do uso/cobertura do solo para o processo de escorregamento raso de solo em encosta natural.

Seguindo-se a sequência de aplicação do método AHP foram realizadas as operações de normalização dos pesos relativos nas matrizes de comparação obtendo o vetor de prioridades ou auto-vetor, o qual fornece o peso relativo de cada indicador de perigo expresso em percentagens. A comparação par a par apresentada na Figura 4 está marcada em cinza na matriz de decisão AHP indicada no Quadro 13.

Quadro 13 – Exemplo da estruturação da matriz de decisão AHP para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais. As marcações em cinza indicam a comparação par a par exemplificada na Figura 4.

Cálculos AHP - tamanho 7 x 7		ESCORREGAMENTO RASO EM ENCOSTAS NATURAIS					
Matriz Recíproca							
Indicadores de perigo	Amplitude	Declividade	Uso/cobertura	Nível d'água (NA)	Água superficial	Material	Estrutura Geológica
Amplitude	1	1/5	1/3	1/3	2	2	5
Declividade	5	1	3	3	2	5	7
Uso/cobertura	3	1/3	1	2	2	5	5
Nível d'água (NA)	3	1/3	1/2	1	3	3	8
Água superficial	1/2	1/2	1/2	1/3	1	3	5
Material	1/2	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3
Estrutura Geológica	1/5	1/7	1/5	1/8	1/5	1/3	1

Como última etapa da definição dos pesos relativos dos indicadores de perigo foi realizada a análise de consistência dos pesos atribuídos, através da Razão de Consistência (RC). Conforme apresentado anteriormente, os julgamentos, ou seja, as atribuições dos pesos são aceitáveis quando a Razão de Consistência (RC) for igual ou inferior a 10%. No caso da obtenção de um valor de RC maior do que 10%, a atribuição de pesos é refeita.

Os indicadores de perigo e suas respectivas classes foram definidos de acordo com os tipos de encosta/talude presentes na área de estudo e associados aos tipos de processos esperados ou ocorridos, conforme indicado no Quadro 14.

Quadro 14 – Indicadores de perigo e suas respectivas classes de acordo com os tipos de encosta/talude e processos.

Encosta/Talude	Processo	Amplitude	Declividade	Uso/Cobertura	Nível d'água	Água Superficial	Material	Estrutura Geológica
Natural	Escorregamento raso	(A1) ≤10 m	(D1) ≤17°	(U1) - Arbórea	(NA1) Não observado	(AS1) - Concentração baixa	(M1) - Solo Residual	(NO) - Não observada
		(A2) 10<A≤20 m	(D2) 17°<D≤30°	(U2) - Arbustiva	(NA2) Surgência	(AS2) - Concentração média	(M2) - Depósito Natural	(E1) - Favorável à estabilidade
		(A3) >20 m	(D3) >30°	(U3) - Campo/Cultura		(AS3) - Concentração alta		(E2) - Desfavorável à estabilidade
		(A4) >10 m	(D4) D>60°	(U4) - Cobertura urbana		(AS4) - Linha de drenagem		
Corte	Escorregamento raso solo/rocha	(A1) ≤2 m	(D1) ≤17°	(U1) - Arbórea	(NA1) Não observado	(AS1) - Concentração baixa	(M1) - Solo Residual	(NO) - Não observada
		(A2) 2<A≤5 m	(D2) 17°<D≤30°	(U2) - Arbustiva	(NA2) Surgência	(AS2) - Concentração média	(M2) - Depósito Natural	(E1) - Favorável à estabilidade
		(A3) 5<A≤10 m	(D3) 30°<D≤60°	(U3) - Campo/Cultura		(AS3) - Concentração alta	(M3) - Rocha Alterada	(E2) - Desfavorável à estabilidade
		(A4) >10 m	(D4) D>60°	(U4) - Cobertura urbana		(AS4) - Linha de drenagem	(M4) - Rocha Sã	
Bloco Rochoso	Rolamento/Deslocamento	(A1) ≤10 m	(D1) ≤17°	(U1) - Arbórea	(NA1) Não observado	(AS1) - Concentração baixa	(M1) - Solo Residual	(NO) - Não observada
		(A2) 10<A≤20 m	(D2) 17°<D≤30°	(U2) - Arbustiva	(NA2) Surgência	(AS2) - Concentração média	(M2) - Depósito Natural	(E1) - 1 família de fratura
		(A3) >20 m	(D3) 30°<D≤60°	(U3) - Campo/Cultura		(AS3) - Concentração alta	(M3) - Rocha Alterada	(E2) - 2 ou mais famílias de fraturas
		(A4) >10 m	(D4) D>60°	(U4) - Cobertura urbana		(AS4) - Linha de drenagem	(M4) - Rocha Sã	
Aterro	Escorregamento	(A1) ≤2 m	(D1) ≤17°	(U1) - Arbórea	(NA1) Não observado	(AS1) - Concentração baixa	(M1) Solo	
		(A2) 2<A≤5 m	(D2) 17°<D≤30°	(U2) - Arbustiva	(NA2) Surgência	(AS2) - Concentração média	(M2) Lixo/Entulho	
		(A3) 5<A≤10 m	(D3) D>30°	(U3) - Campo/Cultura		(AS3) - Concentração alta	(M3) Misto	
		(A4) >10 m	(D4) D>60°	(U4) - Cobertura urbana		(AS4) - Linha de drenagem		

Quadro 14 (continuação) – Indicadores de perigo e suas respectivas classes de acordo com os tipos de encosta/talude e processos.

Encosta/Talude	Processo	Contato	Ângulo do plano basal	Forma Geométrica	Área de contato
Bloco Rochoso	Rolamento/ Deslocamento	(C1) Rocha/Rocha liso	(B1) $0 < P \leq 15^\circ$	(F1) Lasca	(AC1) Área maior
		(C2) Rocha/Rocha preenchido	(B2) $15^\circ < P \leq 35^\circ$	(F2) Laje	(AC2) Área menor
		(C3) Rocha/Solo	(B3) $> 35^\circ$	(F3) Arredondada ou cúbica	

A seleção dos tipos de indicadores de perigo, apoiou-se nos trabalhos de Cerri (1993); Macedo (2001) e nos trabalhos de mapeamento de áreas de risco de escorregamentos em encostas urbanas com abordagem qualitativa, descritos em: FUNDUNESP (2003), Cerri *et al.* (2004, 2007), Canil *et al.* (2004), Macedo *et al.* (2004a, 2004b), Faria *et al.* (2005) e Santoro *et al.* (2005).

A seleção das classes de indicadores de perigo foi realizada com base nos trabalhos de Yoshikawa (1997), Macedo (2001), FUNDUNESP (2003) e SMA (2006).

4.2.3 – Trabalhos de campo aplicando a planilha de análise de perigo

Os trabalhos de campo se desenvolveram nos meses de maio e julho de 2009, com o objetivo de identificar a tipologia dos processos associados a escorregamentos, os indicadores de perigo e suas respectivas classes para a aplicação do método AHP. O mapeamento de perigo de escorregamento das áreas selecionadas foi realizado aplicando as tabelas estruturadas na planilha de análise de perigo.

Os setores de perigo foram delimitados utilizando fotografias aéreas digitais (sobrevoos) coloridas impressas nas escalas entre 1:1.000 a 2.000, datadas de 2001. Além destas fotos, foram utilizados outros documentos e mapas disponíveis para área como documentos de apoio e consulta (carta geotécnica, relatórios de atendimento de emergências associadas a deflagração de escorregamentos, entre outros).

Para a preparação das fotos aéreas para a delimitação dos setores de perigo foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica – SIG Arcgis 9.3. No SIG foram geradas bases cartográficas com as fotos aéreas digitais para cada área mapeada, as quais foram exportadas para o formato de arquivos de imagem do tipo jpg (joint photographic group), que podem ser editados por programas comuns e facilmente disponíveis como Microsoft Power Point, Paint, Corel Draw, entre outros.

No zoneamento do perigo, a delimitação dos setores em campo foi realizada com base nos seguintes procedimentos:

- pré-setorização a uma distância que possibilitasse a visão geral do cenário de risco, observando o relevo e a forma de ocupação da área a ser mapeada. Nesta etapa foram considerados: a posição da ocupação em relação a encosta (topo, meia-encosta e base, com possibilidades de queda; queda ou atingimento e atingimento, respectivamente), forma do perfil da encosta (retilínea, convexa, côncava, côncava-convexa), identificação da tipologia dos processos esperados e a delimitação da área possível de ser afetada pelo processo;
- setorização em escala de detalhe, verificando localmente as observações realizadas à distância e identificando os indicadores de perigo e as feições de instabilidade em cada setor.

Destaca-se que no zoneamento são delimitados setores com moradias em situação de perigo similar, o que permite a homogeneização dessas condições de perigo para um dado setor. Portanto, não é aconselhável delimitar setores extensos, evitando generalizações.

A forma de preenchimento da ficha de campo foi realizada diretamente na planilha *Excel*, por meio de um *tablet*.

Os índices de perigo foram obtidos pela ponderação dos pesos relativos dos indicadores de perigo conforme a equação 6. A classificação e hierarquização final dos setores em baixo, médio, alto e muito alto perigo de escorregamentos foi realizada conforme os critérios matemáticos definidos no Quadro 12.

4.3 – Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas

Como forma de se avaliar os resultados da análise de perigo, foram escolhidos três especialistas em mapeamento de áreas de risco de escorregamentos para realizarem a atribuição dos pesos nos julgamentos paritários da matriz de decisão AHP.

Na realização desta etapa, foram considerados os mesmos indicadores de perigo e suas respectivas classes, adotados neste trabalho. Assim como, foram consideradas as mesmas observações dos indicadores de perigo de escorregamentos realizadas nos trabalhos de campo nas seis áreas mapeadas. Portanto, os três especialistas utilizaram:

- a Escala de Saaty na comparação par a par dos indicadores e suas respectivas classes de atributos;
- os mesmos indicadores e suas respectivas classes, descritos neste trabalho;
- as mesmas observações realizadas no levantamento de campo de 2009, ou seja, os mesmos dados de entrada, incluindo a mesma setorização, para a realização da análise de perigo.

As matrizes de decisão AHP foram estruturadas conforme os julgamentos paritários dos três especialistas. Em seguida, a planilha de análise de perigo correspondente à opinião de cada especialista foi aplicada para as seis áreas mapeadas. Finalmente, os resultados da análise de perigo dos especialistas foram comparados na forma de tabelas para cada área mapeada.

5 – ÁREA DE ESTUDO

A área definida para a aplicação da metodologia de mapeamento de perigo com a utilização do método AHP foi o município de São Sebastião (SP).

Os escorregamentos ocorridos nas encostas urbanas do município de São Sebastião, assim como na região do Litoral Norte, estão relacionados a taludes de cortes e aterros lançados, configurando-se em escorregamentos que mobilizam pouco volume de material. No entanto, são volumes suficientes para causar danos às pessoas e bens.

No universo de 19 áreas mapeadas pelo IG-SMA neste município, em 2005, foram selecionadas 6 áreas para realizar o mapeamento com a aplicação do método AHP, conforme apresentado na Figura 5. Essas áreas são representativas dos processos de escorregamentos descritos na classificação adotada (Augusto Filho, 1992) e correspondem a 21 setores de perigo identificados e mapeados. A definição destas áreas também foi norteada pelas recomendações da “Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação” (SMA, 1996).

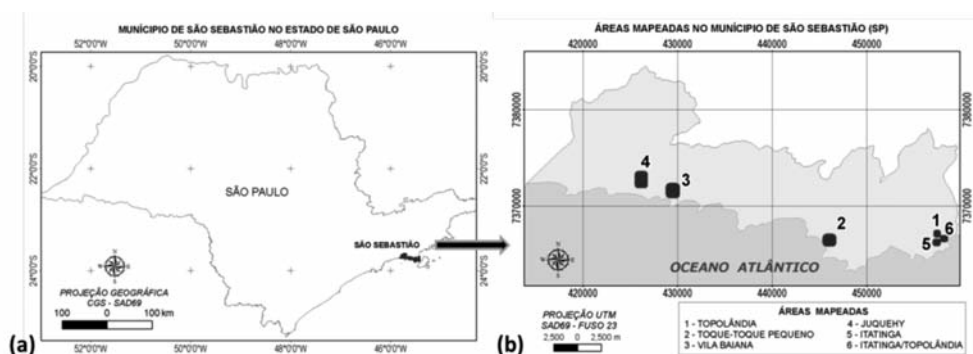


Fig. 5 – Localização da área de estudo (a) localização do município de São Sebastião no Estado de São Paulo; (b) indicação das seis áreas de risco de escorregamentos.

6 – RESULTADOS

6.1 – Aplicação do método AHP

A Figura 6 apresenta os resultados dos cálculos da matriz de decisão AHP e a análise de sensibilidade para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais. Este procedimento foi realizado para todos os indicadores de perigo e suas respectivas classes, conforme a natureza da encosta/talude e os tipos de processo.

Cálculos AHP - tamanho 7 x 7		ESCORREGAMENTO RASO EM ENCOSTAS NATURAIS						
Matriz Redproca								
Indicadores de perigo	Amplitude	Dedividade	Uso/cobertura	Nível d'água (NA)	Água superficial	Material	Estrutura Geológica	
Amplitude	1	1/5	1/3	1/3	2	2	5	
Dedividade	5	1	3	3	2	5	7	
Uso/cobertura	3	1/3	1	2	2	5	5	
Nível d'água (NA)	3	1/3	1/2	1	3	3	8	
Água superficial	1/2	1/2	1/2	1/3	1	3	5	
Material	1/2	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	
Estrutura Geológica	1/5	1/7	1/5	1/8	1/5	1/3	1	
SOMA	13,20	2,71	5,73	7,13	10,53	19,33	34,00	
Matriz Normalizada								
0,076	0,074	0,058	0,047	0,190	0,103	0,147	0,695	9,93% Amplitude
0,379	0,369	0,523	0,421	0,190	0,259	0,206	2,347	33,52% Dedividade
0,227	0,123	0,174	0,281	0,190	0,259	0,147	1,401	20,01% Uso/Cobertura
0,227	0,123	0,087	0,140	0,285	0,155	0,235	1,253	17,90% Nível d'água (NA)
0,038	0,185	0,087	0,047	0,095	0,155	0,147	0,754	10,77% Água superficial
0,038	0,074	0,035	0,047	0,032	0,052	0,088	0,365	5,21% Material
0,015	0,053	0,035	0,018	0,019	0,017	0,029	0,186	2,66% Estrutura Geológica
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7,000	100,0%
autovalor (λ _{máx})			7,6867					n = 7
Índice de consistência (IC)			11,44%					
razão de consistência (RC)			8,67% < 10%					

Fig. 6 – Matriz de decisão AHP, autovetor (pesos) e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais.

Os pesos dos indicadores de perigo e suas respectivas classes resultantes dos cálculos da matriz de decisão AHP de acordo com a natureza da encosta/talude e os tipos de processos de escorregamentos são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Pesos dos indicadores de perigo e de suas respectivas classes com a aplicação do método AHP.

Pesos dos indicadores de perigo e de suas respectivas classes											
ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	AMPLITUDE	PESOS	DECLIVIDADE	PESOS	USO-COBERTURA	PESOS	N.A.	PESOS	ÁGUA SUPERFICIAL	PESOS
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO	(A1) ≤10 m	6,69 (D1) ≤17°	22 (D2) 17°>30°	6,69 (U1) - ARBOREA	3,72 (NA1) NÃO OBS.	10 (AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48 (M1) - S.RESIDUAL	12,5		
		(A2) 10<A≤20 m	12,19 (D2) 17°>30°	71,32 (D3) >30°	22 (U2) - ARBUSTIVA	6,7 (NA2) SURGÊNCIA	90 (AS2) - CONC. MÉDIA	9,85 (M2)- DEPÓSITO NATURAL	87,5		
		(A3) >20 m			71,32 (U3) - CAMPO-CULTURA	14,22	(AS3) - CONC. ALTA	24,09			
					(U4) - COBERTURA URB	21,16	(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57			
CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	(A1) ≤2 m	5,69 (D1) ≤17°	12,37 (D2) 17°>30°	4,35 (U1) - ARBOREA	3,72 (NA1) NÃO OBS.	10 (AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48 (M1) - S.RESIDUAL	21,04		
		(A2) 2<A≤5 m	12,19 (D2) 17°>30°	27,09 (D3) 30°>60°	12,37 (U2) - ARBUSTIVA	6,7 (NA2) SURGÊNCIA	90 (AS2) - CONC. MÉDIA	9,85 (M2)- DEPÓSITO NATURAL	48,13		
		(A3) 5<A≤10 m	26,33 (D3) 30°>60°	56,19 (U4) - COBERTURA URB	27,09 (U3) - CAMPO-CULTURA	14,22	(AS3) - CONC. ALTA	24,09 (M3) - ROCHA ALTERADA	21,04		
		(A4) >10 m	55,79 (D4) D=60°	(U5) - SOLO EXPOSTO	56,19 (U4) - COBERTURA URB	21,16	(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57 (M4) - ROCHA SÁ	9,79		
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/ DESPLACAMENTO	(A1) ≤10 m	6,69 (D1) ≤17°	12,37 (D2) 17°>30°	4,35 (U1) - ARBOREA	3,72 (NA1) NÃO OBS.	10 (AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48 (M1) - S.RESIDUAL	5,55		
		(A2) 10<A≤20 m	12,19 (D2) 17°>30°	27,09 (D3) 30°>60°	12,37 (U2) - ARBUSTIVA	6,7 (NA2) SURGÊNCIA	90 (AS2) - CONC. MÉDIA	9,85 (M2)- DEPÓSITO NATURAL	54,46		
		(A3) >20 m	71,32 (D3) 30°>60°	56,19 (U4) - COBERTURA URB	27,09 (U3) - CAMPO-CULTURA	14,22	(AS3) - CONC. ALTA	24,09 (M3) - ROCHA ALTERADA	22,96		
				(U5) - SOLO EXPOSTO	56,19 (U4) - COBERTURA URB	21,16	(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57 (M4) - ROCHA SÁ	17,08		
ATERRO	ESCORREGAMENTO	(A1) ≤2 m	5,69 (D1) ≤17°	12,19 (D2) 17°>30°	6,69 (U1) - ARBOREA	3,72 (NA1) NÃO OBS.	10 (AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48 (M1) SOLO	11,5		
		(A2) 2<A≤5 m	12,19 (D2) 17°>30°	71,32 (D3) D=30°	22 (U2) - ARBUSTIVA	6,7 (NA2) SURGÊNCIA	90 (AS2) - CONC. MÉDIA	9,85 (M2) LIXO-ENTULHO	40,55		
		(A3) 5<A≤10 m	26,33 (D3) D=30°		71,32 (U3) - CAMPO-CULTURA	14,22	(AS3) - CONC. ALTA	24,09 (M3) MISTO	47,96		
		(A4) >10 m	55,79		(U4) - COBERTURA URB	21,16	(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57			

Pesos dos indicadores de perigo e suas respectivas classes											
ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	ESTR.GEOLÓGICA	PESOS	CONTATO	PESOS	ÂNG. DO PLANO BASAL	PESOS	FORMA GEOMÉTRICA	PESOS	ÁREA DE CONTATO	PESOS
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO	(W0) - NÃO OBSERVADA	7,14								
		(E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE	18,04								
		(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE	74,82								
CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	(W0) - NÃO OBSERVADA	7,14								
		(E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE	18,04								
		(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE	74,82								
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/ DESPLACAMENTO	(W0)- NÃO OBSERVADA	6,69 (C1)ROCHA/ROCHA S&S	5,41 (B1) 0°<P≤15°	6,69 (F1) LARGA	6,69 (AC1) ÁREA MAIOR	19				
		(E1) - 1 FAMÍLIA DE FRATURA	22 (C2)ROCHA/ROCHA preenchido	28,86 (B2) 15°<P≤35°	22 (F2) LAJE	22 (AC2) ÁREA MENOR	90				
		(E2) - 2 OU MAIS FAMÍLIAS DE FRATURAS	71,32 (C3)ROCHA/SOLO	64,63 (B3) >35°	71,32 (F3) ARREDONDADA OU CUBICA	71,32					
ATERRO	ESCORREGAMENTO										

6.2 – Análise do Perigo

A análise do perigo compreendeu a determinação do Índice de Perigo (IP) e seu respectivo grau de perigo.

Os pesos dos indicadores de perigo e suas respectivas classes, obtidos para cada processo de escorregamento com a aplicação da matriz de decisão AHP, foram utilizados na determinação do Índice de Perigo (IP). Os IPs foram calculados para cada tipo de processo de escorregamento identificado nos setores de perigo durante os trabalhos de campo, conforme os procedimentos adotados para a estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamento.

O grau de perigo foi dividido em quatro classes: muito alto, alto, médio e baixo, adotando-se os critérios descritos no Quadro 12.

A média aritmética foi calculada para os 41 valores do índice de perigo (IP) resultantes dos diferentes tipos de processos de escorregamentos identificados nos 21 setores de perigo mapeados, conforme mostra o Quadro 16, a seguir.

Quadro 16 – Resultados da análise de perigo realizada para os 41 índices de perigo.

ANÁLISE DE PERIGO - RESULTADO													
ÁREA	SETOR	ENCOSTA	PROCESSO	FEIÇÕES DE INSTABILIDADE: (F11) - SULCOS EROSIVOS (F12) - TRINCHAS/DEGRAUS (F13) - CICATRIZES	ANÁLISE DE PERIGO				CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO				
					ÍNDICE	GRAU	CONSEQUÊNCIAS		CRITÉRIO NUMÉRICO = MÉDIA ± (DESVIO/2)				
							CASA, ALVENARIA	CASA, MADEIRA	PERIGO MUITO ALTO = ÍNDICE x MÉDIA E PRESENÇA DE FEIÇÕES DE INSTABILIDADE (F2) OU F3	PERIGO MUITO ALTO = MÉDIA	BAIXO	ALTO	
ÁREA 1 - Tapalândia	A1_S1	BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESLAPAMENTO	F12	39,84	MUITO ALTO	16	4	ALTO	32,63	10,89	27,19	38,88
	A1_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	F12	26,80	MUITO ALTO	1	4	MÉDIO				
	A1_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,07	MÉDIO	64	0	MÉDIO				
	A1_S4	BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESLAPAMENTO		29,06	BAIXO	1	0	BAIXO				
ÁREA 2 - Tapalândia Pequena	A2_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		36,75	ALTO	10	2	ALTO				
	A2_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		30,13	MÉDIO	10	2	MÉDIO				
	A2_S3	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		36,75	ALTO	15	5	ALTO				
	A2_S4	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		30,15	MÉDIO	15	5	MÉDIO				
	A2_S5	BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESLAPAMENTO		27,88	MÉDIO	15	5	MÉDIO				
	A2_S6	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		11,90	BAIXO	8	3	BAIXO				
	A2_S7	NATURAL	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		22,13	BAIXO	8	3	BAIXO				
	A2_S8	ATERRO	ESCORREGAMENTO		17,42	BAIXO	8	3	BAIXO				
ÁREA 3 - Vila Batiana	A3_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		18,31	BAIXO	30	10	BAIXO				
	A3_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,83	MÉDIO	30	10	MÉDIO				
	A3_S3	ATERRO	ESCORREGAMENTO		24,15	BAIXO	30	10	BAIXO				
	A3_S4	ATERRO	ESCORREGAMENTO	F12	31,34	MUITO ALTO	1	0	MÉDIO				
ÁREA 4 - Juquehy	A4_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		28,43	MÉDIO	15	5	MÉDIO				
	A4_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		20,84	BAIXO	15	5	BAIXO				
	A4_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	F12	43,67	MUITO ALTO	32	0	ALTO				
	A4_S4	ATERRO	ESCORREGAMENTO		36,38	MUITO ALTO	32	0	MÉDIO				
	A4_S5	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		13,42	BAIXO	10	0	BAIXO				
	A4_S6	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		14,27	BAIXO	10	0	BAIXO				
	A4_S7	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		23,60	BAIXO	9	0	BAIXO				
	A4_S8	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,83	MÉDIO	14	0	MÉDIO				
ÁREA 5 - Itaipava	A5_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		46,12	ALTO	4	0	ALTO				
	A5_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		36,20	ALTO	8	0	ALTO				
	A5_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		33,65	MÉDIO	8	0	MÉDIO				
	A5_S4	ATERRO	ESCORREGAMENTO		28,09	MÉDIO	8	0	MÉDIO				
	A5_S5	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		45,37	ALTO	30	0	ALTO				
	A5_S6	BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESLAPAMENTO		40,95	ALTO	30	0	ALTO				
	A5_S7	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,27	MÉDIO	30	0	MÉDIO				
	A5_S8	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		48,48	ALTO	18	0	ALTO				
ÁREA 6 - Tapalândia Itaipava	A6_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		51,42	ALTO	18	0	ALTO				
	A6_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		40,00	ALTO	60	0	ALTO				
	A6_S3	NATURAL	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		39,48	ALTO	60	0	ALTO				
	A6_S4	ATERRO	ESCORREGAMENTO		28,09	MÉDIO	60	0	MÉDIO				
	A6_S5	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO	F12	54,32	MUITO ALTO	1	0	ALTO				
	A6_S6	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	F12	55,82	MUITO ALTO	1	0	ALTO				
	A6_S7	NATURAL	ESCORREGAMENTO RABO DE SOLO		40,00	ALTO	34	0	ALTO				
	A6_S8	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		36,05	ALTO	34	0	ALTO				

De acordo com o Quadro 16, a média aritmética (\bar{X}) dos 41 valores de índice de perigo foi 32,40 e o desvio padrão (Δ) foi 11,19. Para avaliar a variabilidade dos resultados em relação à média foi calculado o coeficiente de variação que representa a razão entre o desvio padrão e a média aritmética. O valor do coeficiente de variação foi 0,3453, ou seja, menor que 0,4 (40%), indicando homogeneidade dos dados (entre 5 e 40%, indica uma amostragem homogênea).

Portanto substituindo os valores da média e do desvio padrão na expressão de $IP = \bar{X} \pm \frac{1}{2} \Delta$, têm-se: $IP = 32,40 \pm \frac{1}{2} 11,19$, resultando nos valores de $IP = 26,80$ e $IP = 37,99$.

Os critérios utilizados na análise do perigo de escorregamento dos 21 setores resultantes do mapeamento com a aplicação do método AHP são apresentados no Quadro 17.

O Quadro 18, a seguir, mostra a correlação entre os critérios da classificação do risco no método de mapeamento de escorregamentos adotado pelo Ministério das Cidades (Quadro 2) e a classificação do perigo (índice e grau) no mapeamento com a aplicação do método AHP.

Ressalta-se que o grau de perigo muito alto foi definido de acordo com o método adotado pelo Ministério das Cidades, ou seja, com base na presença de evidências de instabilidade expressivas e presentes em grande número ou magnitude. Assim como nas demais classificações de perigo, nos setores classificados como perigo muito alto com a aplicação do método AHP, os condicionantes geológico-geotécnicos serão sempre analisados, sendo possível verificar a contribuição de cada um deles no desenvolvimento de determinado processo de escorregamento.

Quadro 17 – Critérios aplicados na análise de perigo de escorregamento dos 21 setores mapeados com a aplicação do método AHP.

Análise de Perigo de Escorregamento	
Índice de Perigo (IP)	Grau de Perigo
$IP < 26,80$	BAIXO
$26,80 \leq IP \leq 37,99$	MÉDIO
$IP > 37,99$	ALTO
Presença de feições de instabilidade	MUITO ALTO

Quadro 18 – Correlação entre os critérios da classificação de risco no método adotado pelo Ministério das Cidades e da classificação de perigo (índice e grau) com a aplicação do método AHP.

GRAU DE PERIGO	ÍNDICE DE PERIGO (IP)	DESCRIÇÃO
P1 Baixo	IP < 26,80	Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervalo no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muitos reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
P2 Médio	$26,80 \leq IP \leq 37,99$	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P3 Alto	IP > 37,99	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P4 Muito Alto	Presença de feições de instabilidade	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

6.3 – Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas

Os julgamentos da comparação par a par utilizados para a estruturação da matriz de decisão AHP dos indicadores de perigo e suas respectivas classes, foram realizados pela 1ª autora deste trabalho.

Como forma de verificação da influência da subjetividade nos resultados da análise de perigo, foram escolhidos três especialistas em mapeamento de áreas de risco de escorregamento para realizarem esses julgamentos. O especialista 1 tem 28 anos de formado em Geologia e 27 anos de

experiência em risco geológico-geotécnico; o especialista 2 possui 30 anos de formado em Geologia e 25 anos de experiência em risco geológico-geotécnico e; o especialista 3 possui 25 anos de formado em Geologia e 15 anos de experiência em risco geológico-geotécnico.

O Quadro 19 mostra os intervalos dos índices de perigo com a classificação correspondente, obtidos através dos julgamentos paritários dos especialistas.

Quadro 19 – Resultados dos critérios utilizados na análise do perigo de escorregamentos pelos três especialistas consultados e pela autora desta pesquisa.

Grau de Perigo	Índice de Perigo			
	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Autora
Baixo	$IP < 29,91$	$IP < 32,90$	$IP < 31,19$	$IP < 26,80$
Médio	$29,91 \leq IP \leq 39,27$	$32,90 \leq IP \leq 41,12$	$31,19 \leq IP \leq 39,93$	$26,80 \leq IP \leq 37,99$
Alto	$IP > 39,27$	$IP > 41,12$	$IP > 39,93$	$IP > 37,99$
Muito Alto	Presença de feições de instabilidade	Presença de feições de instabilidade	Presença de feições de instabilidade	Presença de feições de instabilidade

A área escolhida para a apresentação desses resultados foi a Área 6, denominada Itatinga/Topolândia. A Figura 7a mostra uma vista geral da área e a Figura 7b mostra um talude de corte em rocha alterada.

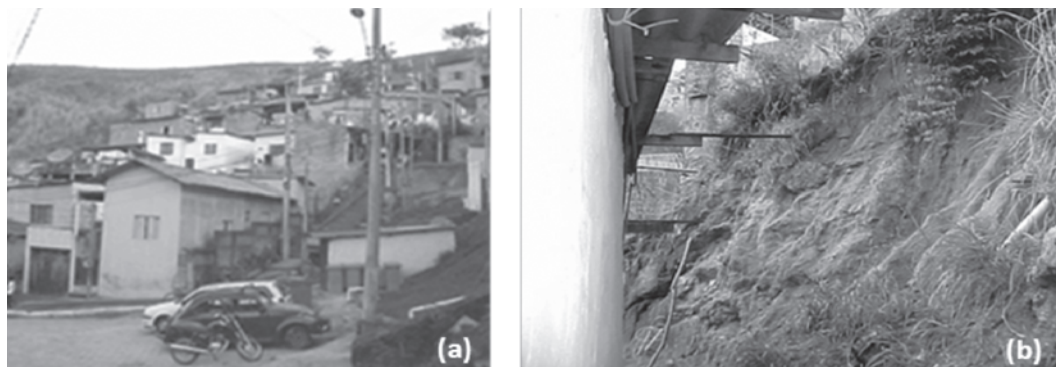


Fig. 7 – Área 6 – Itatinga/Topolândia. (a) vista geral da área; (b) moradia construída muito próxima à base do talude de corte em rocha alterada (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

O Quadro 20 apresenta os resultados das análises de perigo realizadas pela 1ª autora, e pelos três especialistas na área de Itatinga/Topolândia.

Na Área 6, os resultados obtidos na classificação final do perigo pelos três especialistas e pela autora do trabalho foram iguais. Nos setores A6_S1 e A6_S3, para o processo de escorregamento em talude de aterro, o grau de perigo do pesquisador 3 diferiu dos demais, resultando em grau de perigo baixo. Esta classificação ocorreu devido à atribuição de pesos menores pelo especialista 3 em relação aos demais para os indicadores de perigo: declividade, nível de água e tipo de material para este tipo de processo.

Quadro 20 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da 1ª autora deste trabalho e dos três especialistas consultados, na Área de Itatinga/Topolândia.

ÁREA 6 - ITATINGA/TOPOLÂNDIA																			
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																			
Setor	Encosta/Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias			
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo						
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final				
A6_S1	Natural	Escorregamento raso de solo	não	40	P3-Alto		40,59	P3-Alto		45,59	P3-Alto		42,35	P3-Alto		60			
A6_S1	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		43,29	P3-Alto		P3-Alto	45,62		P3-Alto	P3-Alto			41,31	P3-Alto	P3-Alto
A6_S1	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		33,30	P2-Médio			33,53		P2-Médio				30,96	P1-Baixo	
A6_S2	Natural	Escorregamento raso de solo	cicatriz de escorregamento	54,32	P3-Alto	P4 - Muito Alto	51,04	P3-Alto	P4 - Muito Alto	48,81	P3-Alto	P4 - Muito Alto	47,35	P3-Alto	P4 - Muito Alto	1			
A6_S2	Corte	Escorregamento solo/rocha	cicatriz de escorregamento	55,92	P3-Alto		52,12	P3-Alto			50,57		P3-Alto				46,30	P3-Alto	
A6_S3	Natural	Escorregamento raso de solo	não	40	P3-Alto	P3-Alto	40,59	P3-Alto		45,59	P3-Alto		42,35	P3-Alto		34			
A6_S3	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		43,29	P3-Alto		P3-Alto	45,62		P3-Alto	P3-Alto			41,31	P3-Alto	P3-Alto
A6_S3	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		33,30	P2-Médio			33,53		P2-Médio				30,96	P1-Baixo	

6.4 – Comparação dos setores de risco e de perigo resultantes dos mapeamentos

No mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA em 2005 (SMA, 2006), na área denominada de Itatinga/Topolândia foram delimitados 4 setores de risco (Figura 8), conforme mostra o Quadro 21. Enquanto no mapeamento de perigo com a aplicação do método AHP, os 3 setores de perigo delimitados (Figura 9), foram:

- Setor 1 (corresponde ao setor 1 do mapeamento de risco) – apresenta maior valor do índice de perigo igual a 40, correspondendo ao grau de perigo alto para escorregamentos rasos de solo em encosta natural. Esse valor de IP está muito próximo do valor de 39,46 obtido para escorregamentos em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por essa classificação de perigo são: amplitude e declividade excessivas, solo residual e rocha alterada com estrutura geológica desfavorável à estabilidade, ocupação situada em linha de drenagem (condição de umidade alta).
A classificação do risco para o setor 1 no mapeamento realizado pelo IG (SMA, 2006) também foi de risco alto;
- Setor 2 (corresponde ao setor 2 do mapeamento de risco) - é representado por uma moradia com histórico de vários escorregamentos. O maior valor do índice de perigo obtido por meio da matriz de decisão AHP foi igual a 55,92, correspondendo ao grau de perigo alto para escorregamento raso de solo em encosta natural. Esse valor de IP está muito próximo do valor de 54,32 obtido para escorregamentos em taludes de corte. Entretanto, a moradia deste setor apresenta feições de instabilidade como trincas no piso e cicatrizes de escorregamentos significativas, as quais conferem a classificação de perigo muito alto para o setor 2;
- Setor 3 (corresponde ao setor 4 do mapeamento de risco) – também apresenta maior valor do índice de perigo igual a 40, correspondendo ao grau de perigo alto para escorregamentos rasos de solo em encosta natural. Esse valor de IP, assim como no setor 1, também está muito próximo do valor de IP igual a 39,46 obtido para escorregamentos em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por essa classificação de perigo são: amplitude e declividade excessivas, solo residual e rocha alterada com estrutura geológica desfavorável à estabilidade, ocupação situada em linha de drenagem (condição de umidade alta).
O setor 3 do mapeamento de risco realizado pelo IG (SMA, 2006) não foi delimitado no mapeamento de perigo, pois foram realizadas obras de contenção nos taludes de corte

situados a jusante da Rua Vereador Francisco Luciano Nogueira, minimizando, dessa forma, o perigo de escorregamento. Essa observação foi realizada durante os trabalhos de campo do ano de 2009.

Quadro 21 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do método AHP para a Área de Itatinga/Topolândia.

ÁREA 6 – ITATINGA/TOPOLÂNDIA							
Mapeamento de risco IG-SMA							
Setor		Processo adverso		Grau de risco		nº de moradias ameaçadas	
A6_S1		Escorregamento de solo		R3 - Alto		60	
A6_S2		Escorregamento de solo		R4 - Muito Alto		1	
A6_S3		Escorregamento de solo		R2 - Médio		4	
A6_S4		Escorregamento de solo		R2 - Médio		34	
Mapeamento de perigo aplicando o método AHP							
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Análise de Perigo			n.º moradias ameaçadas
				IP	Grau	Grau Final	
A6_S1	Encosta natural	Esc. raso de solo	não	40	P3-Alto	Alto	60
A6_S1	Talude de corte	Esc. solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		
A6_S1	Aterro	Escorrega- mento	não	28,09	P2-Médio		
A6_S2	Encosta natural	Esc. raso de solo	cicatrizes	54,32	P3-Alto	Muito Alto	1
A6_S2	Talude de corte	Esc. solo/rocha	cicatrizes	55,92	P3-Alto		
A6_S3	Encosta natural	Esc. raso de solo	não	40	P3-Alto	Alto	34
A6_S3	Talude de corte	Esc. solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		
A6_S3	Aterro	Escorrega- mento	não	28,09	P2-Médio		

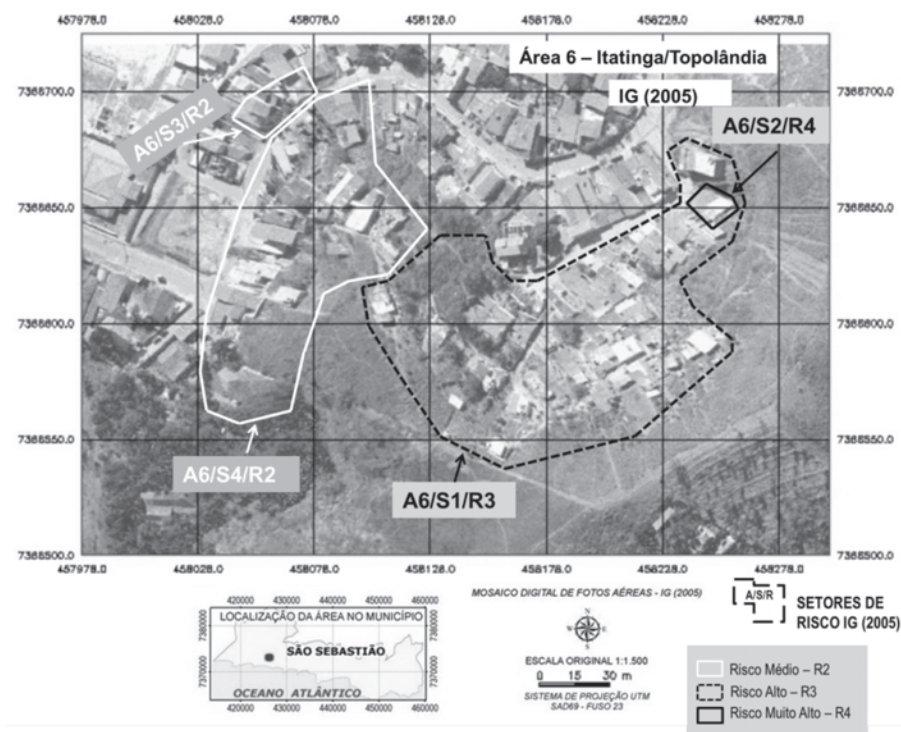


Fig. 8 – Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Itatinga/Topolândia.

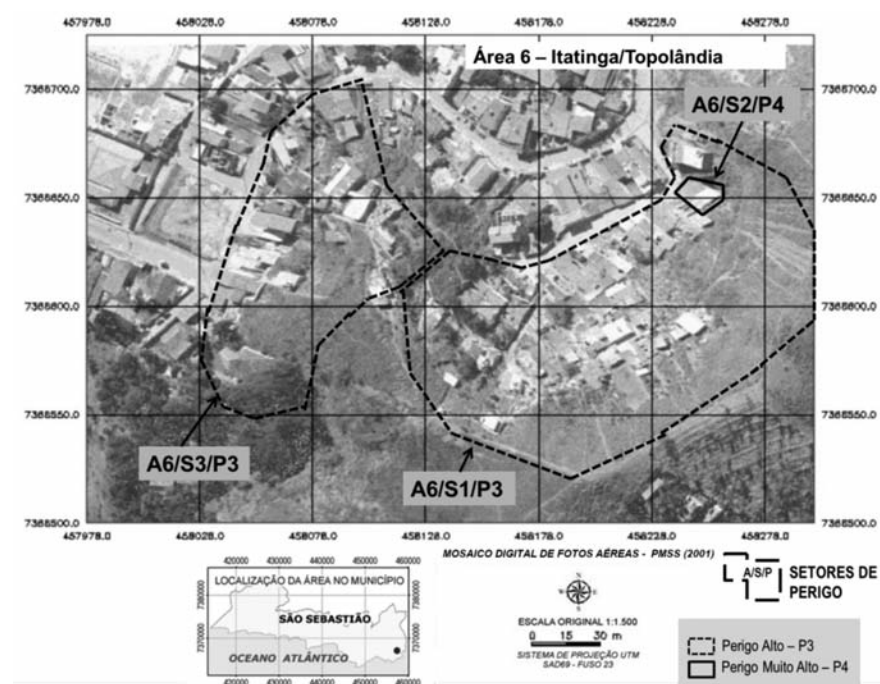


Fig. 9 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área de Itatinga/Topolândia.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contribuiu para uma melhor definição do grau de perigo nos mapeamentos associados a escorregamentos em encostas urbanas precárias. O grau de perigo foi definido com base em análises qualitativas, minimizando a subjetividade, tornando a classificação do perigo mais objetiva e consistente.

A incorporação do método AHP nos procedimentos normalmente utilizados nos mapeamentos de riscos de escorregamentos em encostas urbanas, e em particular no Estado de São Paulo, é uma das principais contribuições desta pesquisa no sentido de diminuir a subjetividade destes mapeamentos; melhorando a confiabilidade do diagnóstico de risco para a implementação das ações de mitigação por parte do poder público.

O método AHP aplicado no aprimoramento do método de mapeamento de risco adotado pelo Ministério das Cidades (Governo Federal) proporcionou a constatação de duas importantes características: a flexibilidade e a possibilidade de verificação da consistência dos julgamentos adotados na análise. Esta verificação da consistência dos dados, ou seja, a análise de sensibilidade promove aos técnicos envolvidos uma maior percepção do julgamento qualitativo dos processos de perigo, aumentando o nível de confiança na tomada de decisão, minimizando dessa forma, a subjetividade. A flexibilidade está associada à facilidade com que se pode adaptar novas estruturas da matriz de decisão, dependendo dos processos e critérios de risco e perigo a serem analisados. Dessa forma, este método pode ser aplicado, de forma homogênea, em diferentes cenários de perigo.

A estruturação da análise do perigo em planilhas utilizando o programa *Microsoft Excel* tornou o método mais prático, de fácil compreensão, promovendo uma visualização mais clara da contribuição dos processos associados a escorregamentos na análise do perigo.

Além disso, a aplicação do método AHP no mapeamento de perigo evidenciou a facilidade e praticidade em se verificar a contribuição (em forma de peso) dos indicadores de perigo na classificação do perigo nos setores mapeados.

Com base nos resultados, será possível definir de forma otimizada as ações necessárias para a gestão de risco. Esses resultados irão contribuir, de forma mais precisa, para a realização de medidas de prevenção ao perigo nas áreas com possibilidade de ocorrência de processos de escorregamentos.

Verificou-se que ocorreu a mesma classificação final do perigo pelos especialistas e pela autora deste trabalho para a Área 6.

Na comparação dos resultados do mapeamento de risco desenvolvido pelo IG (SMA, 2006) e do mapeamento do perigo com a aplicação do método AHP, verificou-se que no mapeamento de perigo com a aplicação do método AHP ocorre:

- A sistematização e hierarquização dos condicionantes naturais e induzidos dos processos de escorregamentos, minimizando a subjetividade, tornando a análise de perigo mais objetiva e consistente;
- A adoção de procedimentos de modo a uniformizar a delimitação dos setores nas áreas mapeadas.

Na comparação dos resultados por meio dos graus de risco e perigo, constatou-se que ocorreu uma avaliação subestimada nos julgamentos durante a análise do risco efetuada pelo IG, classificando um dos setores como risco médio, sendo que no mapeamento de perigo com a aplicação do método AHP o mesmo setor foi classificado como perigo alto pela 1ª autora e pelos três especialistas consultados.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, L. M. de; Granemann, S. R.; Gartner, I.; Bernardes, R. S. (2000). *Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, pp. 257-262.
- Asahi, T.; Turo, D.; Shneiderman, B. (1994). *Visual decision-making: Using tree maps for the Analytic Hierarchy Process*. University of Maryland, Maryland.
Disponível em: <http://sigchi.org/chi95/Electronic/documnts/videos/ta_bdy.htm>.
- Augusto Filho, O. (1992). *Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica*. In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. pp. 721-733.
- Boritz, J. E. (1992). *Pairwise Comparison - The Analytic Hierarchy Process*. University of Waterloo, Waterloo. Disponível em: <<http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>>.
- Canil, K.; Macedo, E.S.; Gramani, M.F.; Almeida Filho, G.S.; Yoshikawa, N.K.; Mirandola, F.A.; Vieira, B.C.; Baida, L.M.A.; Augusto Filho, O.; Shinohara, E.J. (2004). *Mapeamento de risco em assentamentos precários nas zonas sul e parte da oeste no município de São Paulo (SP)*. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. Anais. São Paulo: ABGE, pp.193-204.
- Carvalho, C. S.; Galvão, T. (2006). *Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários*. In: BRASIL. Carvalho, C.S. e Galvão, T. (Orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, pp. 10-17.
- Cerri, L.E.S. (1993). *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes*. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 197 p.
- Cerri, L.E.S. (2006). *Mapeamento de Riscos nos Municípios*. In: BRASIL. Carvalho, C.S. e Galvão, T. (Orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, pp. 46-55.
- Cerri, L.E.S.; Zaine, J.E.; Silva, V.C.R.; Silva, L.C.R.; Néri, A.C.; Barbosa, T.T.A.; Paula, J.P.L. de; Scarance, M.R.A.P.; Silva, D.M.B. (2004). *Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP)*. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. Anais. São Carlos: ABGE, pp.115-122.
- Cerri, L.E.S.; Nogueira, F.R.; Carvalho, C.S.; Macedo E.S.; Augusto Filho, O. (2007). *Mapeamento de Risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP)*. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 26, n. 2, pp. 143-150.
- Choirat, C.; Seri, R. (2001). *Analytic Hierarchy Process, a Psychometric Approach*. Dipartimento di Economia, Università degli Studi dell'Insubria, Itália.
Disponível em: <http://eco.uninsubria.it/dipeco/paper_Choirat.pdf>.
- Ensslin, L.; Montibeller Neto, G.; Noronha, S.M.D. (2001). *Apoio à decisão*. Editora Insular, Florianópolis (SC), 295 p.
- Faria, D.G.M.; Ferreira, C.J.; Rossini-Penteado, D.; Fernandes da Silva, P.C.; Cripps J.C. (2005). *Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas habitacionais de*

- Diadema (SP)*. In: Congresso Brasileiro Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis (SC). Anais (ISBN 85-7270-017-X). ABGE, CD-ROM, pp. 892-907.
- Finnie, G.R.; Wittig, G.E. (1999). *An Intelligent Web Tool for Collection of Comparative Survey Data*. School of Information Technology, Bond University, Austrália.
Disponível em: <<http://www.it.bond.edu.au/publications/99TR/99-10.pdf>>.
- FUNDUNESP – Fundação para o Desenvolvimento da UNESP (2003). *Mapeamento de risco associado a áreas de encosta e margens de córregos nas favelas do município de São Paulo. Relatório Final*. UNESP/IGCE/DGA, Rio Claro, 78p.
- Kim, S.C. (1999). *Statistical Issues in Combining Expert Opinions for Analytic Hierarchy Process*. Soongsil University, Coreia.
Disponível em: <http://www.stat.fi/isi99/proceedings/arkisto/varasto/kim_0217.pdf>.
- Kolat, C.; Doyuran, V.; Ayday, C.; Suzen, M.L. (2006). *Preparation of a geotechnical microzonation model using Geographical Information Systems based on Multicriteria Decision Analysis*. Engineering Geology, vol. 87, November, pp. 241-255.
- Kolat, C.; Ulusay, R.; Suzen, M.L. (2012). *Development of geotechnical microzonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region*. Engineering Geology, vol. 127, February, pp. 36-53.
- Macedo, E.S. (2001). *Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade*. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 276 p.
- Macedo, E.S.; Canil, K.; Gramani, M.F.; Almeida Filho, G.S.; Yoshikawa, N.K.; Mirandola, F.A.; Vieira, B.C.; Baida, L.M.A.; Augusto Filho, O.; Shinohara, E.J. (2004). *Mapeamento de áreas de risco de escorregamentos e solapamento de margens no município de São Paulo - SP: o exemplo da Favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã*. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, Florianópolis. Anais. Florianópolis: GEDN/UFSC, pp. 59-72, CD-ROM.
- Macedo, E.S.; Ogura, A.T.; Canil, K.; Almeida Filho, G.S.; Gramani, M.F.; Silva, F.C.; Corsi, A.C.; Mirandola, F.A. (2004). *Modelos de fichas descritivas para áreas de risco de escorregamento, inundação e erosão*. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, Florianópolis. Anais. Florianópolis: GEDN/UFSC, pp. 892-907, CD-ROM.
- Nogueira, F.R. (2006). *Gestão dos Riscos nos Municípios*. In: BRASIL. Carvalho, C.S. e Galvão, T. (Orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, pp. 26-45.
- Pamplona, E. de O. (1999). *Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP*. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá.
Disponível em: <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Artavalahp.pdf>>.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1990). *How to make a decision: The analytic hierarchy process*. European Journal of Operational Research, Amsterdam, v.48, pp.9-26.
- Santorio, J.; Rossini-Penteado, D.; Vedovello. (2005). *Hierarquização das situações de riscos associados a escorregamentos e inundações no município de Rio Grande da Serra, SP: subsidios*

para o planejamento de ações preventivas e emergenciais. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis – SC. Anais (ISBN 85-7270-017-X). ABGE, pp. 866-878. CD-ROM.

Saunders, J. H. (1994). *Comparison of Decision Accuracy in the Analytic Hierarchy Process and Point Allocation*. Washington. Disponível em:
<<http://www.johnsaunders.com/papers/ahpvpa/ahpvpa.htm>>.

Schmidt, A.M.A. (1995). *Processo de apoio à tomada de decisão - Abordagens: AHP e MACBETH*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em:
<<http://www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>>.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) – Instituto Geológico (IG) (1996). *Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião, SP*. São Paulo. Relatório e Anexos (15 mapas), 77 p.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) – Instituto Geológico (IG) (2006). *Mapeamento de Risco a escorregamentos e inundação do município de São Sebastião, SP*. São Paulo. Relatório e Anexos, 302 p.

Teknomo, K. (2006). *Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial*.
Disponível em: <<http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/ahp/>>.

Toma, T.; Asharif, M.R.. (2003). *AHP coefficients optimization technique based on GA*. Department of Information Engineering of University of Ryukyus, Japão. Disponível em: <http://bw-www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpaper2.html>.

UNDRO – UNITED NATIONS DISASTER RELIEF OFFICE (1991). *UNDRO's approach to disaster mitigation*. UNDRO News, jan.-febr. 1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Coordinator, 20 p.

Yoshikawa, N.K. (1997). *Nova Metodologia de Avaliação de Encostas Rochosas*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo – USP, 268 p.